

09/554599

25.11.98

6

日本特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 22 JAN 1999
WIPO PC

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application:

1998年 4月22日

出願番号
Application Number:

平成10年特許願第112259号

出願人
Applicant(s):

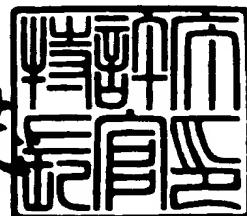
三菱電線工業株式会社

PRIORITY DOCUMENT

1999年 1月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

佐山 建志



出証番号 出証特平10-3103872

【書類名】 特許願
【整理番号】 MD980080
【提出日】 平成10年 4月22日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G02B 6/00 306
G02B 6/00 356
G02B 6/10
G02B 5/18
G02B 6/44 316
【発明の名称】 ファイバグレーティング作製方法、及び、ファイバグレーティング
【請求項の数】 9
【発明者】
【住所又は居所】 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社
伊丹製作所内
【氏名】 今村 一雄
【発明者】
【住所又は居所】 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社
伊丹製作所内
【氏名】 中井 忠彦
【発明者】
【住所又は居所】 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社
伊丹製作所内
【氏名】 須藤 恒秀
【特許出願人】
【識別番号】 000003263
【氏名又は名称】 三菱電線工業株式会社
【代理人】
【識別番号】 100077931

【弁理士】

【氏名又は名称】 前田 弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100094134

【弁理士】

【氏名又は名称】 小山 廣毅

【選任した代理人】

【識別番号】 100107445

【弁理士】

【氏名又は名称】 小根田 一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014409

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9702019

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ファイバグレーティング作製方法、及び、ファイバグレーティング

【特許請求の範囲】

【請求項1】 書き込み対象の光ファイバ素線に対し被覆を施し、この被覆層の外側から紫外線を照射することにより上記光ファイバ素線のコアに対しグレーティングを書き込むファイバグレーティング作製方法において、

上記被覆層を紫外線透過型樹脂によりファイバグレーティングが接続される接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を發揮し得るよう厚肉に形成した後に、

上記紫外線の照射を照射エネルギー密度が少なくとも 1.5 kJ/cm^2 程度となるように行う

ことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

【請求項2】 請求項1において、

被覆層をシングルコートにより膜厚が少なくとも $30 \mu\text{m}$ 程度になるように形成する

ことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

【請求項3】 請求項2において、

紫外線の照射エネルギー密度を実質的に $1.5 \sim 4.0 \text{ kJ/cm}^2$ の範囲の値に設定する

ことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

【請求項4】 請求項1において、

シリンドリカルレンズを介して紫外線を照射するようにし、

被覆が施された光ファイバを、上記シリンドリカルレンズとこのシリンドリカルレンズの焦点との間の位置であって、上記シリンドリカルレンズにより上記焦点に向けて集光される紫外線のビームパターンの内部位置に被覆層を含めた全体が位置するように配設する

ことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

【請求項5】 書き込み対象の光ファイバ素線に対し被覆を施し、この被覆層の外側から上記光ファイバ素線のコアに対し紫外線を照射することによりグレーティングを書き込むファイバグレーティング作製方法において、

シリンドリカルレンズを介して紫外線を照射するようにし、

被覆が施された光ファイバを、上記シリンドリカルレンズとこのシリンドリカルレンズの焦点との間の位置であって、上記シリンドリカルレンズにより上記焦点に向けて集光される紫外線のビームパターンの内部位置に被覆層を含めた全体が位置するように配設する

ことを特徴とするファイバグレーティング作製方法。

【請求項6】 請求項4または請求項5において、

光ファイバをその被覆層の外周面が紫外線のビームパターンの外縁に内接するように配設する

ことを特徴とするファイバグレーティングの作製方法。

【請求項7】 請求項1または請求項5において、

書き込み対象のコアに対し、紫外線の照射前に水素を充填するようにする
ことを特徴とするファイバグレーティングの作製方法。

【請求項8】 請求項1または請求項5において、

書き込み対象のコアとして、Geに加え少なくともSnと共にドープして得られたものを用いるようにする

ことを特徴とするファイバグレーティングの作製方法。

【請求項9】 書き込み対象の光ファイバ素線に対し紫外線透過型樹脂を用いて膜厚が少なくとも $30\text{ }\mu\text{m}$ 程度になるように被覆層をシングルコートにより形成した後、この被覆層の外側から紫外線を少なくとも 1.5 kJ/cm^2 程度の照射エネルギー密度で照射することにより上記光ファイバ素線のコアに対しグレーティングが書き込まれてなる

ことを特徴とするファイバグレーティング。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバのコアに対し縞状に屈折率に差をつけた回折格子（グレーティング）を書き込み、このグレーティングによってそのグレーティングに対応した特定波長の光を反射させるデバイスもしくはフィルタとして用いられるファイバグレーティング及びその作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、この種のファイバグレーティングとして、光ファイバのコアに対しグレーティングを2光束干渉法もしくは位相マスク法等によって書き込まれたものが知られている（例えば、特開平6-235808号公報、特開平7-140311号公報、特許第2521708号参照）。このようなファイバグレーティングでは、ゲルマニウム（Ge）をドープした石英ガラス（コア）に対しコヒーレントな紫外レーザー光を照射することにより該当箇所に光誘起屈折率変化を生ぜしめてグレーティングが生成（書き込み）されるようになっている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、ファイバグレーティングは、ファイバ軸方向に周期的な屈折率変調が形成されたものであり、この屈折率変調の周期や変調形状を変化させることにより、フィルタ、分波器、分散補償器、ファイバレーザーミラー、EDF利得等価器、共振器、温度センサ等の用途への応用が考えられている。そして、これらの各種用途に用いられるファイバグレーティングには所定の伝送特性が必要機能として求められるは当然のこととして、いずれの用途に用いる場合であっても所定の機械的強度特性を有していることが実用に供する上で重要になる。

【0004】

しかし、伝送特性を満足させようとすると機械的強度特性が犠牲になりそれを補完する処理が必要になる一方、機械的強度特性を満足させようとすると伝送特性が犠牲になるというように、伝送特性と機械的強度特性とを両立させるのは以

下に説明するように困難な状況にある。

【0005】

すなわち、グレーティングの書き込み対象である光ファイバは、一般に、コアとクラッドとからなる光ファイバ素線の外周面に紫外線を吸収して硬化反応を生じる紫外線硬化型樹脂等による被覆層が被覆されたものであり、紫外線照射により上記グレーティングを書き込むには、上記の2光束干渉法もしくは位相マスク法等にしても通常は書き込み対象部位の被覆層を除去した状態で行われるため、機械的強度特性は低下する傾向にある。このため、グレーティングの書き込み終了後にその被覆層除去部分に対し再被覆が行われることになるが、再被覆を行うにはリコートもしくはパッケージング等の再被覆のための処理技術が必要になる。上記被覆層を除去すると、光ファイバ素線の外表面（クラッドの外表面）が外気と接触することになり、書き込み作業期間における空気との接触により光ファイバ素線に劣化が進行して伝送特性の悪化を招くおそれがある。その上に、上記書き込み対象部位の被覆層の除去は光ファイバ素線に対する損傷防止のために機械的手段ではなく例えば薬品により溶解させるという化学的処理により行われ、この被覆層の除去工程に手間がかかるためグレーティング書き込みを大量処理する上で効率を阻害する要因となっている。

【0006】

一方、上記の如く被覆層の形成後にグレーティングの書き込みを行うために被覆層を除去するのではなく、被覆層を形成する前にいわゆるインラインにてシングルパルスによるグレーティングの書き込みを行うことも試みられているが、この場合には、上記の如き強度劣化は生じないとの知見が示されているものの（V. Hagemann et al , Mechanical resistance of draw-tower-Bragg-grating sensors, Electron. Lett. , 34, pp211~212, 1998参照）、紫外線照射による屈折率増加の度合いが低く、それに対応して、書き込まれたグレーティングの反射率は低いものになってしまう。

【0007】

また、被覆層の形成後であっても、その被覆層を除去しないで被覆層の外側から紫外線を照射することによりグレーティングの書き込みを有効に行うには、書

き込み対象の光ファイバのコア部分の光誘起屈折率変化に対する感度（フォトセンシティビティ）を高めることが考えられる。このフォトセンシティビティを高める、すなわち、比較的大きな光誘起屈折率変化を生じさせる手法として、書き込み対象のコアとして、通常濃度（コア／クラッドの比屈折率差が例えば0.9%になる程度の濃度）よりも高濃度（比屈折率差が例えば1.5～2.0%になる程度の濃度）のGeをドープしたコアを用いるか、もしくは、通常濃度のGeをドープした後に高圧下で水素を充填したコアを用いることが提案されている（電子情報通信学会論文誌Vol.J79-C-1, No.11, 415頁, 1996年11月参照）。

【0008】

しかしながら、紫外線照射を被覆層除去状態で行う場合の機械的強度特性の低下及び伝送特性の低下を克服しあつ生産性を向上する上で、被覆層除去を行わないで紫外線照射を被覆層の外側から行なうことが望ましいものの、被覆層の外側から紫外線の照射を行うためには、その被覆層が紫外線を透過するものであることが前提条件となる上に、被覆層による透過減衰を考慮してその被覆層をなるべく薄く（例えば膜厚10μmに）する必要が生じる。この場合、被覆層を薄くすると伝送特性をたとえ満足させ得たとしても、所定の機械的強度特性が確保し難くなる。すなわち、膜厚の薄さ自体に基づく破断強度不足や疲労係数の低下に加え、ガラス部分及び被覆層部分の紫外線照射による強度劣化を招き易く、このような強度劣化は膜厚が薄いほど顕著になる傾向にある。このため、被覆層外側からのグレーティングの書き込みの後に補強のためにさらに所定膜厚の二次被覆を行う必要が生じる。これでは、被覆層除去後に再被覆する場合と同様にファイバグレーティングを大量生産する上での効率化が図れることになる。

【0009】

一方、上記の被覆層を機械的強度特性の確保のために分厚くし、紫外線の照射エネルギーを透過特性が低下する分大きくすることも考えられるが、照射エネルギーをあまり大きくすると上記被覆層自体のヤング率の急増（硬度の急増）により実用上の柔軟性を確保し得なくなる上に被覆層自体及びガラス部分が脆くなり、逆に強度劣化を招くことになる。このように、従来のファイバグレーティング

の作製においては、生産性を向上させる上で伝送特性と機械的強度特性との両立が困難であるという不都合を生じている。

【0010】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、生産性の向上を阻害することなしに伝送特性と機械的強度特性との両立を図り得るファイバグレーティング及びその作製方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、第1の発明は、紫外線を透過し得る被覆層を機械的強度特性を満足し得る比較的厚肉の特定膜厚にして形成し、その後に上記厚肉の被覆層の外側から紫外線を照射しても、その照射エネルギーを特定範囲に設定することにより高反射率の優れた伝送特性を有しあつ上記被覆層自体の強度劣化を招かないファイバグレーティングが得られることに着目してなされたものである。具体的には、請求項1に記載の如く、書き込み対象の光ファイバ素線に対し被覆を施し、この被覆層の外側から紫外線を照射することにより上記光ファイバ素線のコアに対しグレーティングを書き込むファイバグレーティング作製方法を対象にして、上記被覆層を紫外線透過型樹脂によりファイバグレーティングが接続される接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を發揮し得るよう厚肉に形成した後に、上記紫外線の照射を照射エネルギー密度が少なくとも 1.5 kJ/cm^2 程度になるように行うことを特定事項とするものである。

【0012】

上記第1の発明の場合、被覆層の膜厚を接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性を發揮し得るような厚肉に形成しても、上記の照射エネルギー密度で紫外線の照射を行うことにより書き込み対象のコアに対し高反射率の優れた伝送特性のグレーティングを形成することができ、かつ、ガラス部分及び被覆層に対する紫外線照射に伴う強度劣化を最小限に抑制して上記の機械的強度特性を保持し得ることになる。しかも、グレーティングの書き込み前に所定の厚肉の被覆層が形成されているため、生産性の向上を阻害することなくファイバグレーティングの大量生産が可能になる。なお、ファイバグレーティングの主な種類として

、ほぼ $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 周期の屈折率変調を実現してコアへの後方結合を実現する短周期ファイバグレーティングと、ほぼ $100\sim500\text{ }\mu\text{m}$ 周期の屈折率変調を実現してクラッドへの前方結合を実現する長周期ファイバグレーティングとがあるが、本発明はいずれの種類のファイバグレーティングにも適用可能である。

【0013】

ここで、上記被覆層は光ファイバ素線の線引直後にシングルコートにより形成するのが生産性の観点から最も好ましく、その「膜厚」としてはグレーティング書き込み後の機械的強度特性がファイバグレーティングが接続される通常の通信用光ファイバ心線と同程度になるようにすればよい。具体的には、少なくとも $30\text{ }\mu\text{m}$ 程度の膜厚になるようにすればよい。好ましくは、 $125\text{ }\mu\text{m}$ の光ファイバ素線であれば例えば $37.5\text{ }\mu\text{m}$ というように $30\sim40\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚の被覆層を形成すればよい。また、上記の紫外線の「照射エネルギー密度」としては、上記の如き膜厚の被覆層に対し少なくとも 1.5 kJ/cm^2 程度に設定すればよく、好ましくは被覆層のヤング率増大を所定範囲に抑制する上で $1.5\sim4.0\text{ kJ/cm}^2$ の範囲内の値にすればよい。また、上記の照射エネルギー密度での照射方法としては、パルス当たりのエネルギーを一定にして微小パルス幅で所定のパルス周波数で繰り返し照射する、連続して照射する、間隔を開けて単発的に大エネルギーで照射する等の種々の方法を採用してもよい。

【0014】

また、このような照射エネルギー密度での紫外線照射はその紫外線をシリンドリカルレンズにより集光して照射すればよく、その場合には、その集光されて焦点に向かうビームパターンの内部位置に上記被覆層の全体が位置するようすればよい。上記シリンドリカルレンズにより集光すればその焦点位置で紫外線の照射密度が最も高くなるものの、書き込み対象の光ファイバ心線の被覆層の外側から紫外線照射を行う場合にはその光ファイバ心線を上記焦点位置に配設すると被覆層が局部的にダメージを受けて焦げたり変色（黄変）したりすることなる。上記の如く被覆層全体がビームパターンの内部位置に位置するようすれば、被覆層にダメージを受けることなく所定の照射密度で均一に照射することが可能になる。加えて、上記ビームパターンの内部位置であっても、照射処理の短時間化を

図る観点から、書き込み対象の光ファイバ心線を上記光ファイバ心線の被覆層の外周面が上記ビームパターンの外縁に内接する位置に配設するのが最も好ましい。すなわち、上記の内接する位置が上記焦点位置に最も近い位置となり、かつ、被覆層の全体がビームパターンの内部に配置される位置となるため、被覆層のダメージを回避し得る範囲で最も高い照射密度の紫外線を照射し得ることになる。

【0015】

さらに、上記第1の発明において、請求項7に記載の如く書き込み対象のコアに対し紫外線の照射前に水素を充填しておくことにより、紫外線照射に対する光誘起屈折率変化の増大化が得られ、より一層高い反射率のグレーティングの形成が可能になる。また、上記書き込み対象のコアとして、請求項8に記載の如くGeに加え少なくともSnを共にドープして得られたものを用いることにより、たとえ上記Geドープ濃度を接続対象の光ファイバ心線と同等にしたとしても紫外線照射に対する光誘起屈折率変化の増大化が得られ、より一層高い反射率のグレーティングの形成が可能になる。すなわち、グレーティングにより反射される特定波長λBは次の(1)式により表され、その特定波長λBを反射する反射率RBは(2)式により表される。

【0016】

【数1】

$$\lambda_B = 2 \cdot n \cdot P \quad \text{----- (1)}$$

n : 実効屈折率

P : グレーティングピッチ

【0017】

【数2】

$$R_B = \tanh^2(\pi \cdot L \cdot \Delta n \cdot \eta / \lambda_B) \quad (2)$$

L : グレーティング長

 Δn : 屈折率変調分 η : コア領域に含まれる伝搬光エネルギー

【0018】

ここで、上記の S_n を共ドープしたコアに対し紫外線を照射した場合に上記(2)式における屈折率変調分 Δn が通常濃度の Ge をドープしただけのコアと比べ増大し、その結果、反射率 R_B が増大することになる。従って、上記の S_n を共ドープしたコアに書き込まれるグレーティングの反射率の増大効果が得られることがある。これにより、上記接続対象の光ファイバ心線とファイバグレーティングとを接続しても Ge ドープ濃度の差に起因する接続損失の増大という事態が生じることはない。つまり、光誘起屈折率変化を増大させるために高濃度の Ge をドープしたコアを用いた場合には、作製されたファイバグレーティングをフィルタ等として使用するために通常の光ファイバに介装すると、上記ファイバグレーティングに対し接続（融着）される光ファイバのコアが通常濃度で Ge ドープされた通常仕様のものであるため両コア間の整合がとれず、 Ge ドープの濃度の差に起因して接続損失が増大してしまうという不都合が生じることになるが、上記の請求項7ではこのような不都合が生じることはない。上記の Ge に加えて共ドープする元素としては、 S_n の他に、 S_n と Al、B 等の内から選択した元素との組み合わせとしてもよい。さらに、例えばセシウム (Ce)、プラセオジウム (Pr) もしくはテルビウム (Tb) の各種金属元素の内の一種もしくは二種以上を Ge と共にドープしてもよい。また、上記の水素充填を行わなくても、上記の S_n 等の共ドープによって反射率の増大が定常的に得られ、水素充填を行った場合に時間経過と共にその水素の拡散が生じることに起因するグレーティング形成期間の制約を受けることもない。

【0019】

第2の発明は、上記第1の発明における被覆層の外側から紫外線を照射する場合にシリンドリカルレンズにより集光した紫外線を照射することによりファイバグレーティングを作製する方法を独立して特定したものである。具体的には、請求項5に記載の如く、書き込み対象の光ファイバ素線に対し被覆を施し、この被覆層の外側から上記光ファイバ素線のコアに対し紫外線を照射することによりグレーティングを書き込むファイバグレーティング作製方法を対象にして、シリンドリカルレンズを介して紫外線を照射するようにし、上記被覆が施された光ファイバを、上記シリンドリカルレンズとこのシリンドリカルレンズの焦点との間の位置であって、上記シリンドリカルレンズにより上記焦点に向けて集光される紫外線のビームパターンの内部位置に被覆層を含めた全体が位置するように配設することを特定事項とするものである。

【0020】

上記第2の発明の場合、シリンドリカルレンズにより集光した紫外線を書き込み対象の光ファイバ心線の被覆層の外側から照射することによりグレーティングの書き込みを行う場合における好適な照射方法が特定されることになる。すなわち、紫外線照射を被覆層の外側からではなく被覆層を除去した状態で行う場合には上記シリンドリカルレンズにより集光された焦点位置で紫外線の照射密度が最も高くなるために、被覆層除去後のガラス部分となるべく上記焦点位置近傍に配設するのが好ましいものの、紫外線照射を被覆層の外側から行う場合にはその光ファイバ心線を上記焦点位置に配設すると被覆層が局部的にダメージを受けて焦げたり変色（黄変）したりすることなる。これに対し、上記の如く被覆層全体がビームパターンの内部に位置するように配設すれば、被覆層にダメージを与えることなく所定の照射密度で均一に照射することが可能になる。加えて、上記ビームパターンの内部位置であっても、請求項6記載の如く書き込み対象の光ファイバ心線を上記光ファイバ心線の被覆層の外周面が上記ビームパターンの外縁に内接する位置に配設するのが最も好ましい。すなわち、上記の内接する位置が上記焦点位置に対し最も近い位置となり、かつ、被覆層の全体がビームパターンの内部に配置される位置となるため、被覆層のダメージを回避し得る範囲で最も高い

照射密度の紫外線を照射し得ることになる。これにより、グレーティングの書き込み処理の短時間化が図られ、ファイバグレーティング作製の効率化が図されることになる。

【0021】

なお、この第2の発明においても、請求項7に記載の如くコアに対し紫外線照射前に水素充填を行う、あるいは、請求項8に記載の如くGeに加え少なくともSnと共にドープしたコアを用いるようにしてもよく、このようにすることにより、上記の第1の発明において記載したと同様の作用が得られる。

【0022】

第3の発明は、上記第1の発明の作製方法により作製されたファイバグレーティングに係るものであり、請求項9に記載の如く書き込み対象の光ファイバ素線に対し紫外線透過型樹脂を用いて膜厚が少なくとも $30\text{ }\mu\text{m}$ 程度になるように被覆層をシングルコートにより形成した後、この被覆層の外側から紫外線を少なくとも 1.5 kJ/cm^2 の照射エネルギー密度で照射することにより上記光ファイバ素線のコアに対しグレーティングが書き込まれてなることを特定事項とするものである。

【0023】

上記第3の発明の場合、少なくとも $30\text{ }\mu\text{m}$ 程度と比較的厚肉の被覆層の外側から紫外線照射を行うことにより形成されたファイバグレーティングであっても、照射エネルギー密度を上記の如くすることにより、書き込まれたグレーティングは高反射率の優れた伝送特性を有する上に、紫外線照射によるガラス部分及び被覆層の強度劣化もなく接続対象の光ファイバ心線とほぼ同等の機械的強度を有し、伝送特性と機械的強度特性との双方を満足したファイバグレーティングが実現される。しかも、被覆層を除去することなしに被覆層の外側からの紫外線照射によりファイバグレーティングの形成が可能である上に、その被覆層も紫外線照射前にシングルコートにより形成されるため、生産性の向上をも図り得る。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基いて説明する。

【0025】

図1は、本発明の実施形態に係るファイバグレーティング作製方法の原理を示し、1はファイバグレーティングを構成する書き込み対象の光ファイバとしての所定長さの光ファイバ心線、2はブラッググレーティング（Bragg Grating）21が書き込まれるコア、3は上記光ファイバ心線1のクラッド、4はこのクラッド3の外表面に被覆された被覆層である。

【0026】

上記コア2としては、通常仕様の光ファイバと同等濃度のGeに加えSn、或いは、Sn及びAl、もしくは、Sn、Al及びBのドーパントを添加したもの用いるのが光誘起屈折率変化を定常的に高める上で好ましい。ここで、通常仕様の光ファイバとは上記光ファイバ心線1に対し接続される接続対象の光ファイバ心線のことであり、このような光ファイバ心線はそのコアに対し比屈折率差が0.9%となる程度の量のGeがドープされて製造されたものである。そして、上記光ファイバ心線1のコア2には、上記の通常仕様の光ファイバのコアと同量（比屈折率差が0.9%となる程度の量）のGeに加え、濃度10000ppm以上、好ましくは濃度10000～15000ppmのSn、或いは、このような濃度のSn及び濃度1000ppm以下のAl等を共ドープすればよい。上記のドープは種々の公知の方法により行えばよく、例えば液浸により行う場合には、上記GeやSnの化合物（Snの場合、例えばSnCl₂・2H₂O）をメチルアルコールと混合し、その溶液の中に浸漬すればよい。

【0027】

上記被覆層4は上記コア2及びクラッド3からなる光ファイバ素線1'の線引き工程に引き続いてシングルコートにより少なくとも30μm程度の膜厚になるように形成されたものである。この被覆層4の形成素材は紫外線を透過する特性を有する紫外線透過型の樹脂が用いられる。この紫外線透過型の樹脂としては、ブラッググレーティング21の書き込みのために照射される紫外線の特定波長帯（例えば240nm～270nmの波長帯）を少なくとも透過させるものであればよく、特に好ましくは上記特定波長帯の紫外線を殆ど吸収せずに透過させる一方、上記特定波長帯よりも短い波長または長い波長の紫外線を吸収して硬化反応

を生じさせるものを用いればよい。つまり、同じ樹脂ではあるが波長によって紫外線吸収特性が異なり、上記特定波長帯では紫外線透過型である一方、上記特定波長帯よりも短い波長域または長い波長域では紫外線硬化型であるような樹脂により上記被覆層4を形成するのが最も好ましい。このような樹脂としては、ウレタン系アクリレートもしくはエポキシ系アクリレートに対し例えば240nmよりも短い波長域または270nmよりも長い波長域の紫外線を受けて硬化反応を開始・促進させるような光開始剤（フォトイニシエータ）を配合したものを用いればよい。

【0028】

また、このような被覆層4により被覆された光ファイバ心線1に対し紫外線照射前に特にコア2に対し水素充填を行うのが光誘起屈折率変化を高める上で好ましい。水素充填を行う場合には上記光ファイバ心線1を水素が充填された密閉容器内に入れ、室温状態でほぼ20MPaの圧力下で約2週間放置すればよい。

【0029】

次に、上記光ファイバ心線1の外側、つまり、被覆層4の外側から紫外線を照射することによりコア2に対しプラッググレーティング21の書き込みを行う。このプラッググレーティング21の書き込みは周知の種々の方法を採用して行えばよく、例えば位相マスク法により行う場合には、図2に作製装置の例を示すように上記光ファイバ心線1の側方直前に格子状の位相マスク5を配設し、この位相マスク5に対しNd-YAGレーザ源6から例えばその4倍波長(4ω)である266nmのコヒーレント紫外レーザ光をシリンドリカルレンズ系7により集光した状態で照射すればよい。これにより、上記紫外レーザ光が位相マスク5及び被覆層4を透過し、上記コア2に対し上記位相マスク5の格子ピッチに対応したグレーティングピッチの部分の屈折率が増大されてプラッググレーティング21が書き込まれることになる。なお、図2中8は紫外レーザ光を拡大して平行ビーム化するビームエキスパンダー、9は上記の平行ビーム化された紫外レーザ光のパワーが均一の部分を切り出す微小幅のスリット、10は上記光ファイバ心線1の長手方向(一点鎖線の矢印参照)に移動可能とされた可動式反射ミラー、11は光スペクトルアナライザ、12は光アイソレータ、13は光カプラである。

【0030】

以上の被覆層4の外側から紫外線を照射するグレーティングの書き込み方法を前提にして本実施形態では以下の方法を採用している。

【0031】

すなわち、上記紫外レーザ光の照射を、その照射エネルギー密度が $1.5\text{ kJ}/\text{cm}^2$ 程度になるように行う。これにより、被覆層4の外側から紫外レーザ光の照射を行う場合に、その被覆層4がほぼ $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上というかなり厚肉の膜厚を有していても、その被覆層4を透過してコア2に対し高屈折率変調を生じさせて高反射率のプラッググレーティング21を書き込みし得るようになる。

【0032】

加えて、図3に示すように書き込み対象の光ファイバ心線1をシリンドリカルレンズ系7により集光される紫外レーザ光のビームパターンBPに対し特定の位置に位置付け、この状態で紫外レーザ光の照射を行うようとする。上記ビームパターンBPはシリンドリカルレンズ系7に入射した平行ビームが焦点Fに向かうように集光されたものであり、このビームパターンBPに対し上記光ファイバ心線1の全体が上記ビームパターンBPの内部に位置し、かつ、その光ファイバ心線1の被覆層4の外周面が上記ビームパターンBPの外縁に内接するように上記光ファイバ心線1を位置付ける。なお、このような位置関係を満足すれば、上記光ファイバ心線1の配設位置は図3に実線で示すように焦点Fの前側であると、同図に一点鎖線で示すように焦点Fの後側であるとを問わない。一例を示すと、焦点距離L1が 100 mm の場合に、外径 $200\text{ }\mu\text{m}$ の光ファイバ心線1を焦点Fからほぼ 2 mm の距離L2だけ離れた光軸上に配設すればよい。光ファイバ心線1の全体を上記ビームパターンBPの内部に位置付けることにより、上記の被覆層4の全体に対し均一な照射エネルギー密度で紫外レーザ光を照射することができるようになる。その上に、上記光ファイバ心線1を焦点F側に対しより近づけた位置に配設した場合に生じ易い被覆層4の局部的なダメージ（強度劣化）発生等を防止し、かつ、このような強度劣化の発生を防止し得る範囲で最も照射エネルギー密度が高くなる位置において上記光ファイバ心線1に対する照射を行うことができ、グレーティングの書き込みに要する時間の短縮化を図ることができ

る。

【0033】

【実施例】

上記実施形態の作製方法により作製したファイバグレーティングについて伝送特性及び機械的強度特性を確認した。伝送特性については特定波長の光に対する反射率、半値全幅及びサイドロープを、機械的強度特性についてはファイバグレーティング部分の疲労係数、破断強度及び被覆層4のヤング率変化を測定・試験した。

【0034】

—供試体—

(供試体の仕様)

試験に用いた光ファイバ心線1の仕様を表1に示す。

【0035】

【表1】

比屈折率差△(%)	0.97
S n濃度(ppm)	15000
A 1濃度(ppm)	900
モードフィールド径(μm)	5.55
カットオフ波長(nm)	1270
クラッド径(μm)	125
被覆外径(μm)	200

【0036】

VAD法と液浸法との併用により通常濃度のGeに対し15000ppmのSnと900ppmのAlとを共ドープしたコアガラスを作製し、この周囲にクラッドガラスをコラプスしたファイバ母材を線引きして光ファイバ素線1'（図4参照）とし、引き続いてこの光ファイバ素線1'に対しシングルコートにより紫外線透過型の紫外線硬化樹脂を用いて膜厚37.5μmの被覆層4を形成して光ファイバ心線1を作製した。この光ファイバ心線1の比屈折率差△は0.97%、モードフィールド径は5.55μm、カットオフ波長は1270nm、クラッ

ド径（光ファイバ素線1'の外径）は $125\mu\text{m}$ 、被覆外径（光ファイバ心線1の外径）は $200\mu\text{m}$ である。そして、この光ファイバ心線1を 20 MPa の高圧水素を充填した密封容器中に約2週間封入することにより上記光ファイバ心線1に対する高圧水素充填を行った。

【0037】

(Sn共ドープによる反射特性試験)

コア2に対しGeのドープ量を通常濃度にしつつもSnを共ドープすることにより光誘起屈折率変化の増大が生じることを、書き込まれたグレーティングの反射率が増大することにより確認した。なお、このコア2に対し水素の高圧充填の有無による反射率の相違も併せて確認した。また、本試験では被覆層4を除去した状態で紫外レーザ光を照射することによりグレーティングの書き込みを行った。

【0038】

コア2に対し通常仕様の濃度（光ファイバ素線の比屈折率差 Δ が0.9%になる程度の量）のGeと 10000 ppm のSnとを共ドープした試料E-1と、これに対しさらに上記の高圧水素充填を施した試料E-2と、上記コア2に対し通常仕様の濃度でGeのみをドープした試料N-1と、これに対しさらに高圧水素充填を施した試料N-2と、上記コア2に対し通常仕様よりも高濃度（比屈折率差 Δ が2.0%になる程度の量）のGeのみをドープした試料H-1と、これに対しさらに高圧水素充填を施した試料H-2とを作成し、反射率の性能比較を行った。

【0039】

上記の6種類の試料E-1, N-1, H-1, E-2, N-2, H-2についての紫外光の照射時間に対する反射率特性を図5に示す。

【0040】

この図5によれば、高圧水素充填を施さなくても、試料E-1では通常濃度のGeに加えSnを共ドープすることにより、通常濃度のGeのみをドープした試料N-1と比べ大幅に反射率を増大させることができる上に、比屈折率差で2.0%と高濃度のGeをドープした試料H-1とほぼ同等の高反射率を得ることが

できた。

【0041】

また、高圧水素充填を施した場合であっても、試料E-2では通常濃度のGeに加えSnを共ドープすることにより、高濃度のGeをドープした試料H-2とほぼ同等の高反射率を得ることができる上に、通常濃度のGeのみをドープした試料N-2と比べ極めて短時間の紫外光の照射により95%以上という高反射率を得ることができた。

【0042】

なお、上記の試料E-1及びE-2において、共ドープするSnの濃度を上記の如く10000 ppmではなく15000 ppmにした場合においても、高反射率化の効果は10000 ppmにした場合とほぼ同等であった。

【0043】

(被覆材料の吸光特性試験)

被覆層4を形成した樹脂の紫外線照射エネルギー密度に対する吸光度の変化を確認した。上記樹脂と同一材料により厚み60μmのシートを形成し、このシートに対し同一の照射条件で照射エネルギー密度(単位:kJ/cm²)のみ「0」、「1.5」、「9.0」の3種類に変化させて紫外線を照射した場合の波長に対する吸光度の変化を測定した。その結果を図6に示す。

【0044】

図6において、D0は照射エネルギー密度が「0」、すなわち、紫外線の非照射の場合、D1は照射エネルギー密度が「1.5」の場合、D2は照射エネルギー密度が「9.0」の場合をそれぞれ示す。

【0045】

上記図6によると、波長250~300nmの範囲では上記のD0, D1, D2は共に吸光度が1.0近傍であり、照射エネルギー密度がD1の「1.5」とびD2の「9.0」とかなり高い場合でも波長270nm付近は1以下と良好であった。従って、被覆層4の外側から後述の如く波長266nmの紫外レーザ光を照射しても、その光入射エネルギーを減衰させずに透過しコア2に対し上記紫外レーザ光を照射させ得る。

【0046】

—作製装置の仕様—

紫外線光源として、最大平均パワーが100mW、パルス幅が50ns、パルス周波数が10HzのNd-YAGレーザ源6（図2参照）を用いた。このNd-YAGレーザの4倍波長である266nmの紫外レーザ光を光ファイバ心線1に対し被覆層4上で照射エネルギー密度が1.5kJ/cm²となるように照射した。その際、図3に示すようなビームパターンBP内に対し光ファイバ心線1を被覆層4の外周面が内接することになる位置に配設した。この場合の位相マスク7上に入射される平均パワーは10mW、外径200μmの光ファイバ心線1に照射される紫外線光の寸法は約2mm（ファイバ軸方向）×約0.2mm（ファイバ径方向）である。上記位相マスク7としては格子ピッチが1065nm、長さが25mmのものを用いた。そして、可動式ミラー10を滑らかに連続して上記ファイバ軸方向（長手方向）に移動させて軸方向に24mmの長さのラッピンググレーティング21の書き込みを行った。

【0047】

—伝送特性—

作製されたファイバグレーティングの反射スペクトルを測定した。その結果を図7に示す。この図7によれば、中心波長1544.6nmにおいて最大反射率が99%以上、半値全幅（FWHM）が0.14nm、サイドローブも中心波長域で25dB以上抑制され、優れた伝送特性が実現されている。

【0048】

—機械的強度特性—

(破断強度)

同一条件で作製した多数のファイバグレーティングについて破断強度を測定した。その結果のワイブル分布を図8に示す。なお、測定時の試験室の温度は22°C、湿度は50%RHに制御した。また、引っ張り条件はゲージ長さを100mm、引っ張り速度を100mm/minとした。

【0049】

上記の図8によれば、破断強度の最大値は5.42GPa、最小値は4.40

GPa、平均値は4.90GPaであり、ファイバグレーティングの接続対象である通常の通信用光ファイバ心線とほぼ同等の破断強度を有している。

【0050】

(疲労係数)

プラッギングレーティング21の形成前と形成後、すなわち、紫外レーザ光の照射前と照射後との供試体について、上記の破断強度の測定における引っ張り速度を3水準に変化させることにより動疲労特性を評価して疲労係数(n値)を求めた。

【0051】

その結果、表2に示すようにグレーティング形成前の疲労係数は23、グレーティング形成後の疲労係数は20であった。

【0052】

【表2】

	疲労係数
グレーティング形成前	23
グレーティング形成後	20

【0053】

グレーティングの形成により疲労係数は23から20へとわずかに低下して破断に至るまでの期間がわずかに短くなるものの、グレーティング形成後であっても実用上何ら問題のない疲労係数を有している。なお、上記のファイバグレーティングの接続対象である通常の通信用光ファイバ心線の疲労係数は23~24程度である。

【0054】

(被覆層4のヤング率変化)

照射時間を0分、20分、50分にして照射エネルギー密度(単位:kJ/cm²)を「0」、「3.0」、「7.5」とした場合の被覆層4のヤング率の変化を測定した。具体的には、上記の各場合におけるファイバグレーティング作製

後の供試体の紫外レーザ光が照射された部位の被覆層4を照射方向に対し前面側と後面側とに2分割されるようにファイバ軸方向に切断し、半円筒形状の照射前面側被覆片4a(図4参照)と、照射後面側被覆片4bとの試料を作製した。そして、これらの両被覆片4a, 4bを上記ファイバ軸方向にゲージ長さ15mm、引っ張り速度1mm/minで引っ張り、2.5%伸長時の引っ張り力からヤング率を求めた。この結果を表3に示す。

【0055】

【表3】

照射時間(min)	0	20	50
照射エネルギー密度(kJ/cm ²)	0	3.0	7.5
ヤング率(MPa)	照射前面	459	540
	照射後面	459	533
			540

【0056】

表3によると、照射前面側被覆片4aのヤング率は、紫外レーザ光の未照射状態の459MPaから3.0kJ/cm²の照射エネルギー密度で照射することにより540MPaまで増大し、7.5kJ/cm²の照射エネルギー密度で照射することにより601MPaまで増大するというように、それぞれ17.7%、30.9%の増大を生じた。一方、照射後面側被覆片4bのヤング率は、紫外レーザ光の未照射状態の459MPaから3.0kJ/cm²の照射エネルギー密度で照射することにより533MPaまで増大し、7.5kJ/cm²の照射エネルギー密度で照射することにより540MPaまで増大し、それぞれ16.1%、17.7%の増大に止まった。従って、被覆層4のヤング率の増大変化度合いは照射エネルギー密度の大小に依存し、照射時間の経過に伴う照射エネルギー密度の増大に従ってヤング率が増大している。しかも、そのヤング率の増大は照射エネルギー密度がより高い照射前面側の被覆層4においてより大きく進行している。

【0057】

ここで、被覆層4のヤング率があまり増大すると硬くなつて光ファイバ心線1

の柔軟性を阻害する傾向になる。そして、硬くなる程、被覆層4が脆くなつて強度特性としては悪化する。一般に、被覆層4のヤング率の増大度合いとして、安全側に見込んでも20%の範囲内であれば光ファイバ心線として実用上何ら問題はないとされており、上記実施例における照射エネルギー密度が 1.5 kJ/cm^2 程度であれば被覆層4のヤング率増大度合いは全く問題がなく、十分に柔軟性を保持して良好な強度特性を発揮することができる。また、照射エネルギー密度が 3.0 kJ/cm^2 であっても、最も大きい変化を示す照射前面側でもヤング率の増大は17.7%に止まり、十分な柔軟性と強度特性を有しているといえる。特に、照射エネルギー密度が高い程、より高い屈折率変調を生じさせてより高い反射率のグレーティング形成が行い得ることから、被覆層4の膜厚を上記実施例の $37.5\mu\text{m}$ よりも分厚くしても、優れた伝送特性と、より高い機械的強度特性とを合わせ持つファイバグレーティングの作製を行うことができる。上記照射前面側被覆片4aについて、上記の安全側の基準である20%というヤング率の増大度合いに相当する照射エネルギー密度を上記表3から比例配分により求めると 3.8 kJ/cm^2 となり、被覆層4の柔軟性という観点からはほぼ 4.0 kJ/cm^2 の照射エネルギー密度までは照射可能であると考えられる。

【0058】

(被覆層4の表面性状)

光ファイバ心線1を図3に示す位置に位置付けた状態で紫外レーザ光を 1.5 kJ/cm^2 の照射エネルギー密度で照射した場合の被覆層4の表面性状について目視により観察した。その結果、黄変やダメージも全くなく良好な状態であった。

【0059】

-ファイバグレーティングの温度特性、張力特性-

(温度特性)

作製されたファイバグレーティングを用いて中心波長の温度依存性及び張力依存性を調べた結果を図9及び図10に示す。

【0060】

これによると、温度変化もしくは張力変化に対応して中心波長はリニアにシフ

ト（変化）し、温度依存性については図9より $0.011\text{ nm}/\text{°C}$ 、張力依存性については図10より $1.3\text{ nm}/\text{N}$ という結果が得られた。しかも、張力依存性については40Nまでの繰り返しの張力印加しても、中心波長のシフトの再現性は良好であった。従って、温度センサもしくは張力センサとしての用途にも好適となる。

【0061】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項1～4, 6, 7のいずれかに記載の発明におけるファイバグレーティング作製方法によれば、高反射率の優れた伝送特性と、被覆層の膜厚を接続対象の光ファイバ心線と同等の機械的強度特性との双方を共に有するファイバグレーティングを得ることができる。加えて、ガラス部分及び被覆層に対する紫外線照射に伴う強度劣化を最小限に抑制して上記の機械的強度特性を保持することができる。従って、紫外線照射後の補完的な処理を必要とすることなく伝送特性と機械的強度特性との両立を図ることができ、生産効率の向上を図ることができる。

【0062】

また、請求項5～8のいずれかに記載の発明におけるファイバグレーティング作製方法によれば、被覆層にダメージを与えることなく所定の照射密度で均一に照射することができ、加えて、書き込み対象の光ファイバ心線をその被覆層の外周面が上記ビームパターンの外縁に内接する位置に配設することにより、被覆層のダメージを回避し得る範囲で最も高い照射密度の紫外線を照射することができ、グレーティングの書き込み処理の短時間化、ファイバグレーティング作製の効率化を図ることができる。

【0063】

さらに、請求項9に記載の発明におけるファイバグレーティングによれば、高反射率の優れた伝送特性を有する上に、紫外線照射によるガラス部分及び被覆層の強度劣化もなく接続対象の光ファイバ心線とほぼ同等の機械的強度を有し、伝送特性と機械的強度特性との双方を満足させることができ、しかも、生産効率の向上をも図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施形態におけるファイバグレーティングの作製原理を示す図である。

【図2】

作製装置を示す模式図である。

【図3】

光ファイバ心線とシリンドリカルレンズ系との位置関係を示す図である。

【図4】

光ファイバ心線の拡大横断面図である。

【図5】

各種ファイバグレーティングの紫外光の照射時間に対する反射率特性を示す図である。

【図6】

紫外線吸光度の照射エネルギー密度に対する依存特性を示す図である。

【図7】

ファイバグレーティングの反射スペクトルを示す図である。

【図8】

ファイバグレーティングの破断強度のワイブル分布を示す図である。

【図9】

ファイバグレーティングの中心波長の温度特性を示す図である。

【図10】

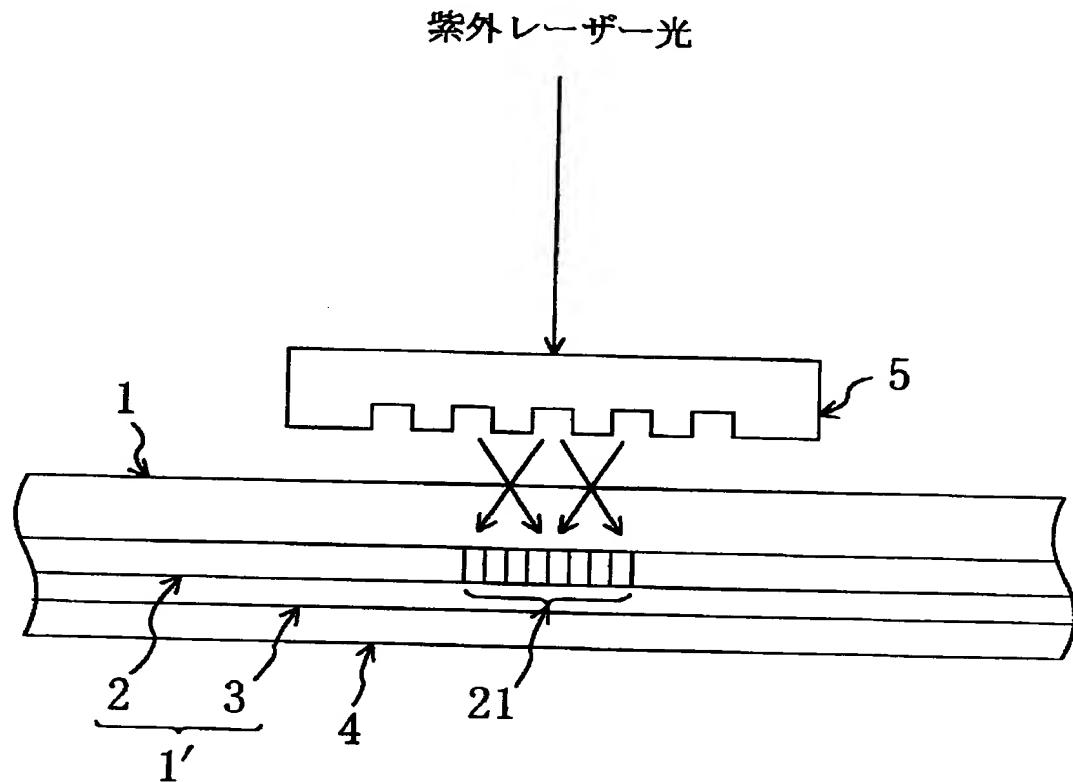
ファイバグレーティングの中心波長の張力印加特性を示す図である。

【符号の説明】

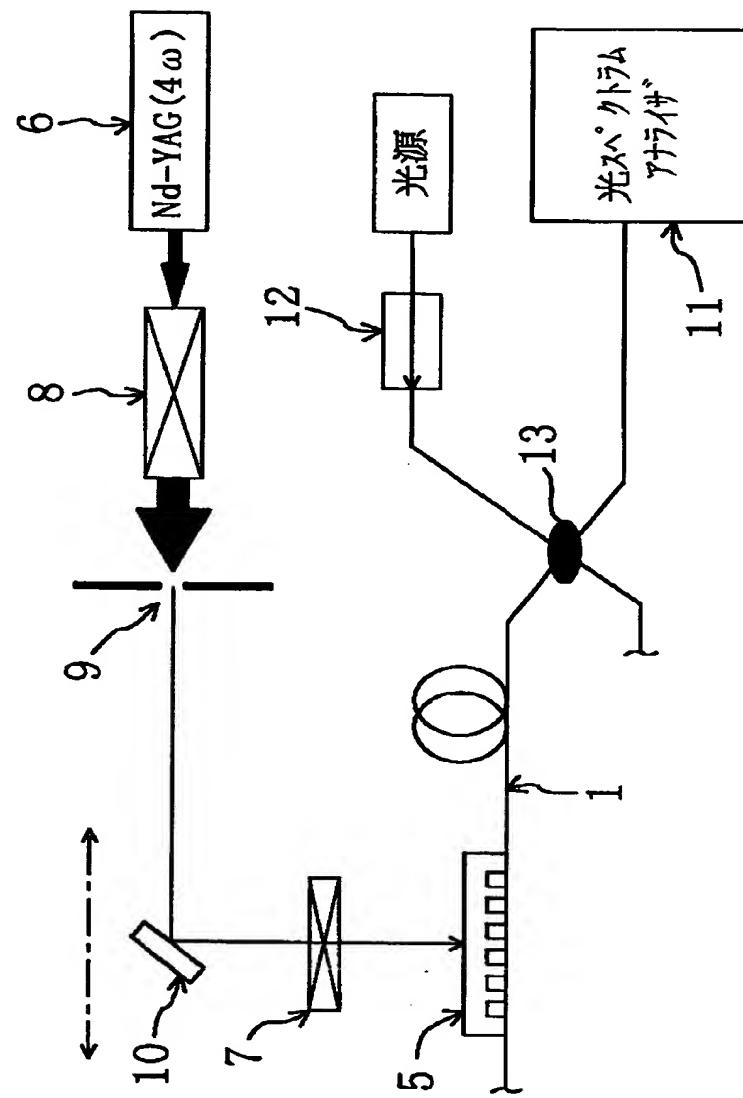
- 1 光ファイバ心線（被覆が施された光ファイバ）
- 1' 光ファイバ素線
- 2 コア
- 3 クラッド
- 4 被覆層（紫外線透過型樹脂の被覆層）

- 7 シリンドリカルレンズ系（シリンドリカルレンズ）
21 ブラッギンググレーティング（グレーティング）
F 焦点（シリンドリカルレンズの焦点）
B P ピームパターン

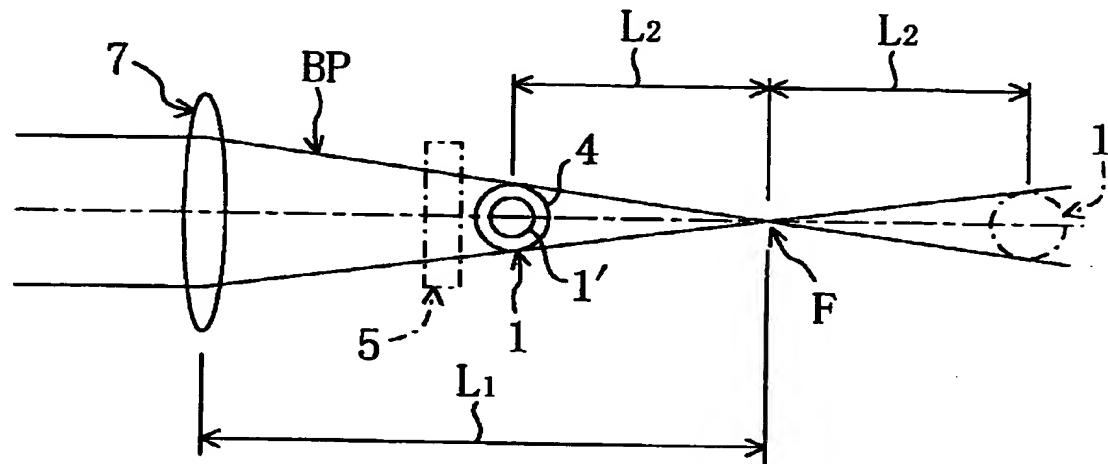
【書類名】 図面
【図1】



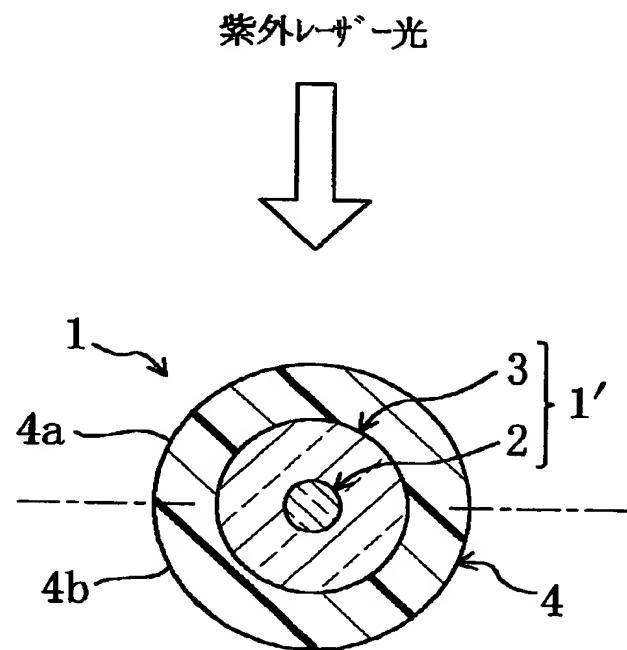
【図2】



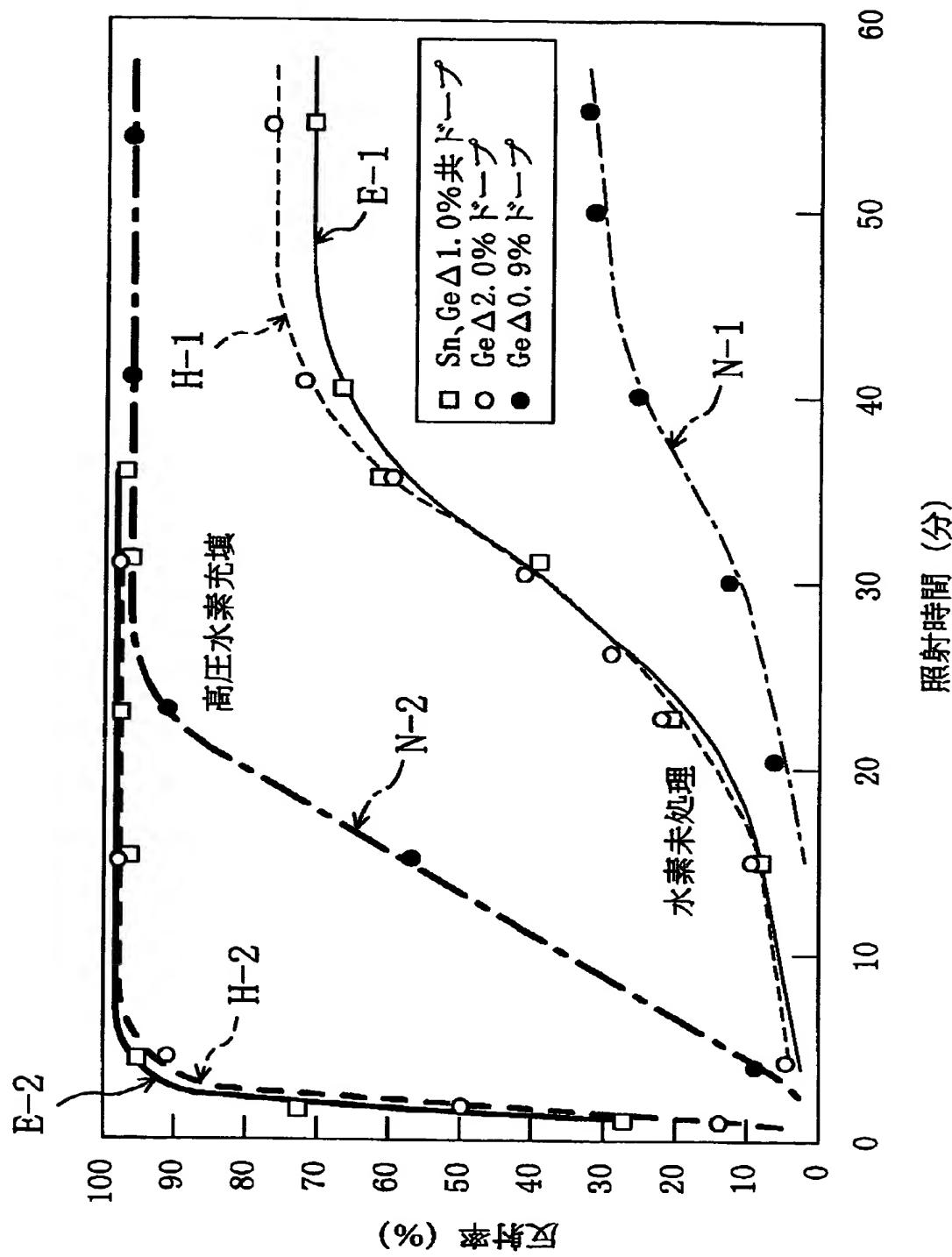
【図3】



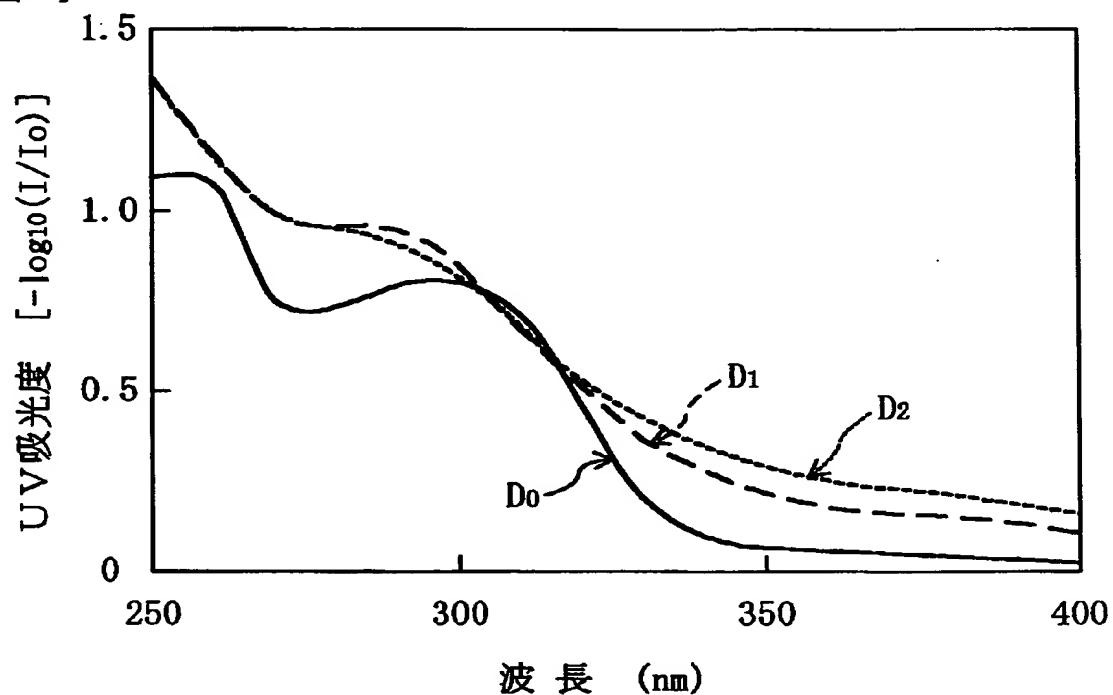
【図4】



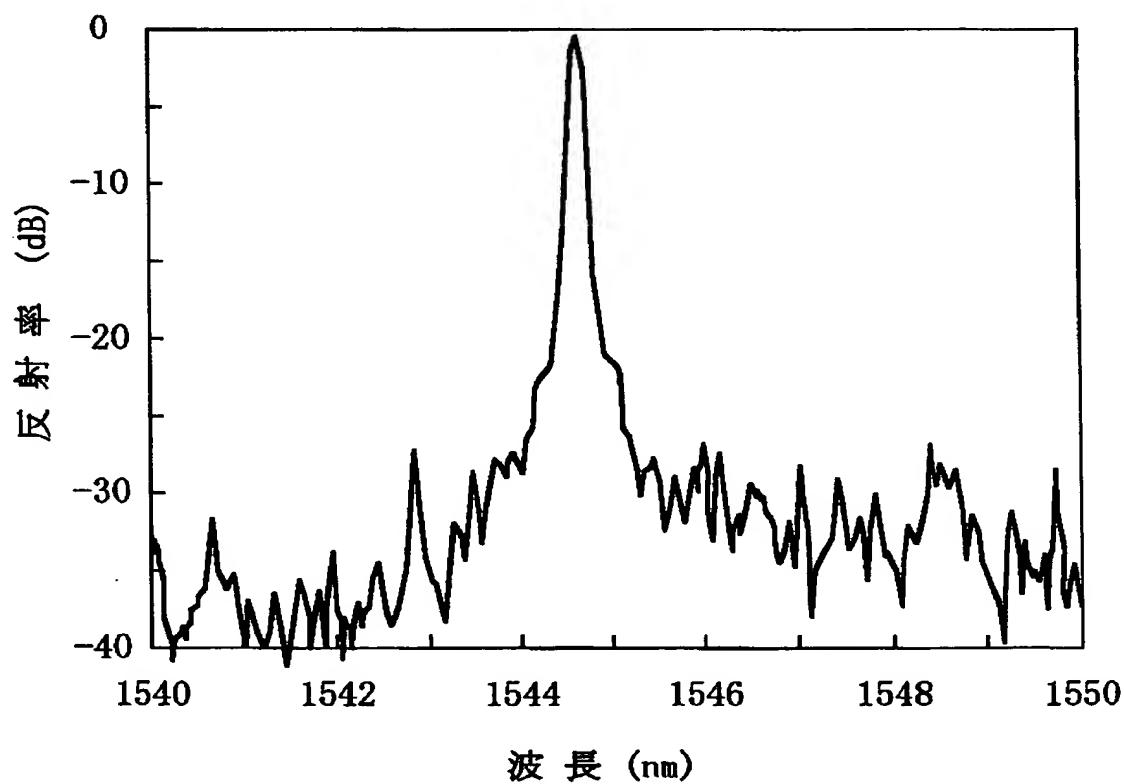
【図5】



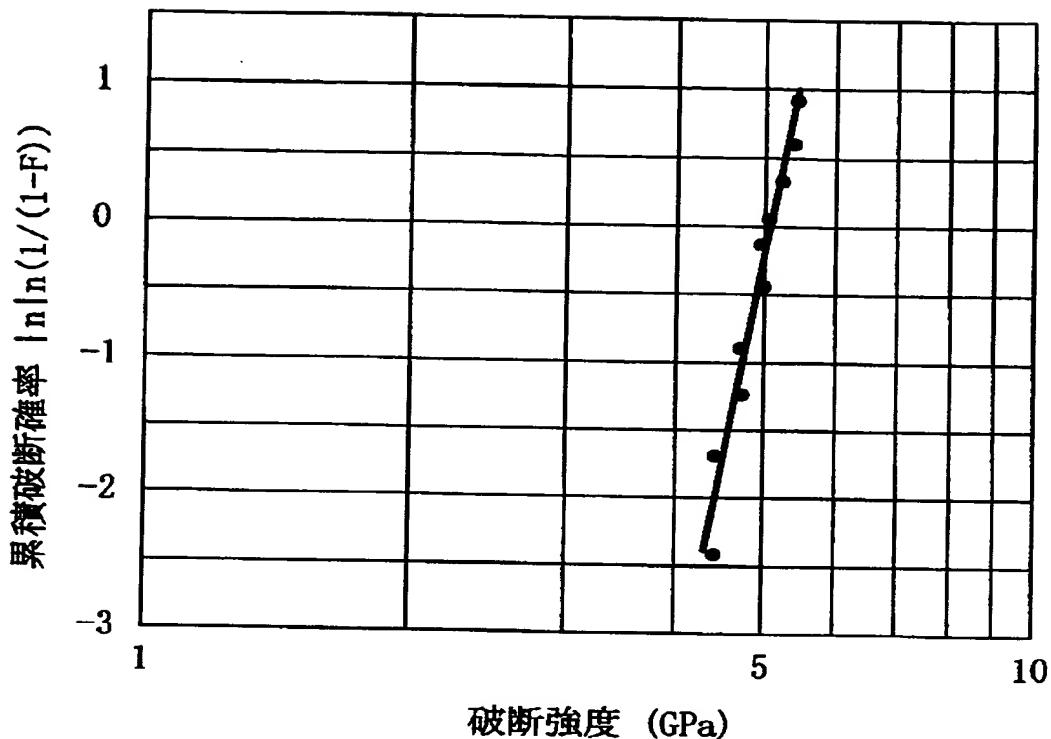
【図6】



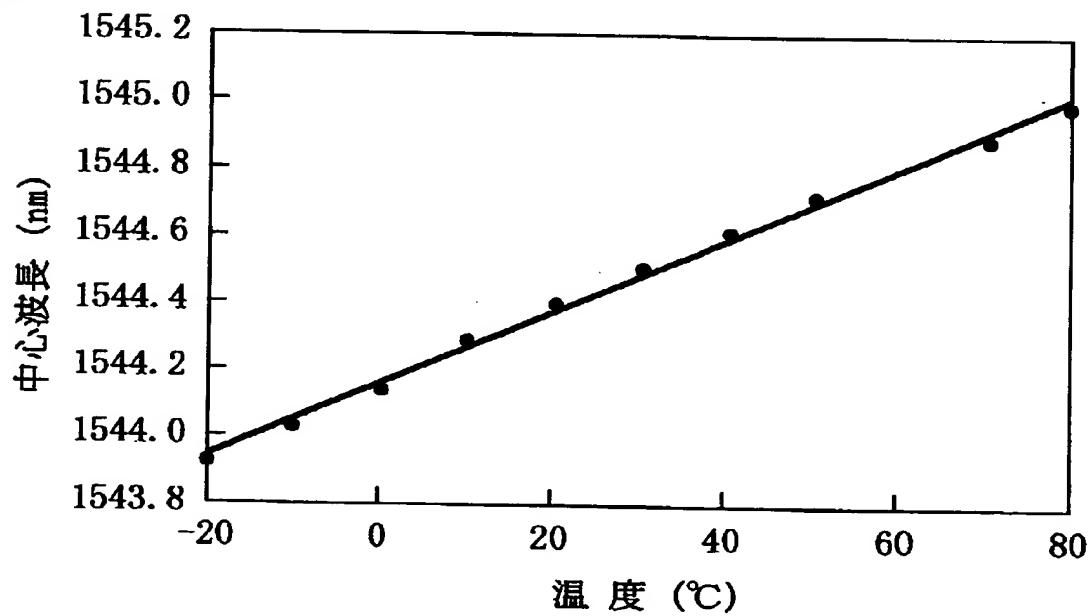
【図7】



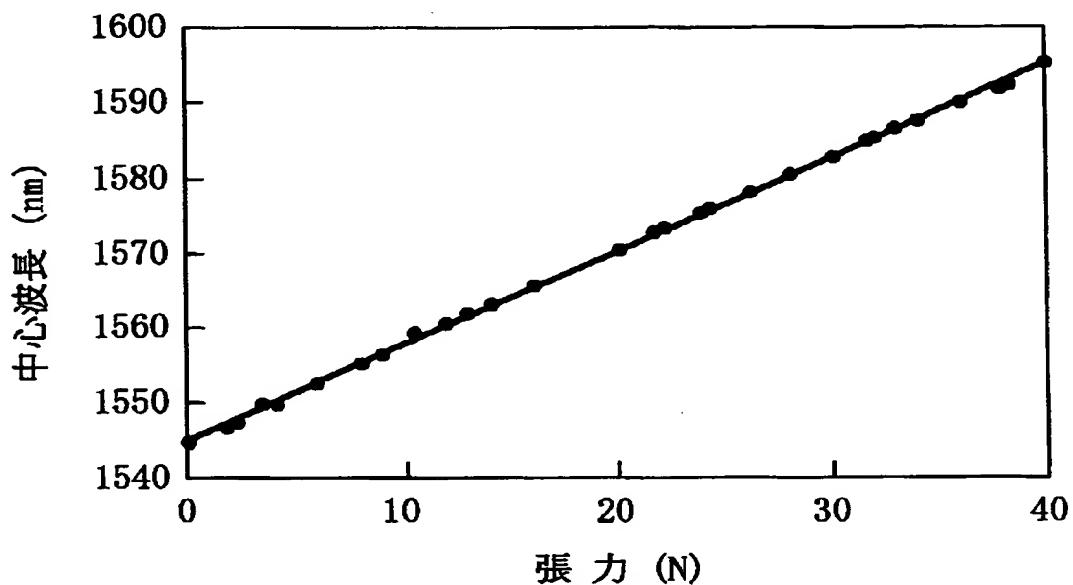
【図8】



【図9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 生産性の向上を阻害することなしに伝送特性と機械的強度特性との両立を図る。

【解決手段】 コア及びクラッドからなる光ファイバ素線1'に対し紫外線透過樹脂を用いて膜厚3.7.5 μmの厚肉の被覆層4をシングルコートにより形成する。この光ファイバ心線1を被覆層の外周面がシリンドリカルレンズ系7により焦点Fに向かい集光される紫外レーザ光のビームパターンB Pの外縁に内接するように位置付ける。被覆層の外側から位相マスク7を介して1.5 kJ/cm²の照射エネルギー密度で紫外レーザ光を照射してブランググレーティングをコアに書き込む。

【選択図】 図3

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000003263

【住所又は居所】 兵庫県尼崎市東向島西之町8番地

【氏名又は名称】 三菱電線工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077931

【住所又は居所】 大阪府大阪市西区鞠本町1丁目4番8号 太平ビル

前田特許事務所

前田 弘

出願人履歴情報

識別番号 [000003263]

1. 変更年月日 1990年 8月14日

[変更理由] 新規登録

住 所 兵庫県尼崎市東向島西之町8番地
氏 名 三菱電線工業株式会社

